Ueber

elektrische Reizung des Halssympathicus.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

der

hohen medicinischen Facultät der Universität Rostock

vorgelegt

von

Gotthold Mulert

approb. Arzt.

Rostock.

Carl Boldt'sche Hof-Buchdruckerei.

1893.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553619_0223

Einleitung.

Die in nachstehender Mittheilung enthaltenen Versuche sind in der Absicht angestellt worden, den Einfluss, den künstliche Reizungen des Halssympathicus auf die Weite der Pupille üben, näher zu studiren, als wie das bis jetzt geschehen ist.

Bei dem grossen Umfange einer solchen Untersuchung musste ich mich indessen auf einen kleinen Theil dieser Aufgabe beschränken. Ich habe mich deshalb nur mit dem Studium der Reizung durch Inductionsströme beschäftigt.

Im December 1892 hatte Prof. Langendorff in der naturforschenden Gesellschaft zu Rostock auf Grund eigner Versuche mitgetheilt, dass einzelne Inductionsschläge, auf den Sympathicus applicirt, die Pupille unverändert liessen, während schnell wiederholte Schläge „durch Summation" wirksam waren. Dies habe ich bei meinen Versuchen im Allgemeinen bestätigt gefunden. Jedoch konnte ich einige Male auch bei einzelnen starken Inductionsschlägen eine allerdings minimale, nur bei 25facher Vergrösserung (Westien'sche Binocularlupe) deutliche Pupillenerweiterung constatiren. Dabei schien es mir, als ob die Wirkung sowohl von der Stromstärke als von der Stromrichtung in gesetzmässiger Weise abhängig sei, doch sind die Versuche hierüber noch nicht zum Abschluss gelangt und werden im hiesigen physiologischen Institut weiter fortgesetzt. Jedenfalls ist die Wirkung der Einzelschläge

eine äusserst geringe, während sich durch tetanisirende Inductionsströme eine deutliche und kräftige Pupillenerweiterung leicht erzielen lässt. Ich habe mich nun darauf beschränkt, den Einfluss dreier variabler Factoren auf die Pupillenerweiterung bei elektrischer Reizung des Halssympathicus mit Inductionsströmen einer genaueren Prüfung zu unterziehen. Die Factoren sind: die Stromintensität, die Zahl der angewandten Einzelschläge und die Intervalle, in welchen dieselben auf einander folgen.

Ehe ich nun zu meinen Versuchen übergehe, will ich erwähnen, dass ähnliche Versuche über Summation elektrischer Reize angestellt worden sind von Stirling 1874[1] und von Ward 1880[2]. Aus diesen ergiebt sich, dass Reflexbewegungen nur ausnahmsweise durch einzelne auf die Haut applicirte Inductionsschläge ausgelöst werden und zwar nur bei sehr starken Strömen. Im Allgemeinen wirken auch hier nur wiederholte Reize. Die weiteren Resultate der beiden Forscher stimmen nicht ganz überein. Während Stirling angiebt, dass „in den weitaus meisten Fällen zu grösseren Intervallen auch grössere Schlagzahlen gehören", um eine Reflexbewegung hervorzurufen, kommt Ward zu dem Resultat: „die Zahl der gleichstarken Einzelreize, welche zur Auslösung einer Reflexbewegung nothwendig sind, bleibt dieselbe, einerlei ob in der Secunde 2,5 oder 20,0 solcher ertheilt werden." Wir werden im Folgenden sehen, dass ich beim Sympathicus ein der Stirling'schen Ansicht analoges Verhalten gefunden habe.

Ich will nun die Beschreibung meiner Beobachtungen damit beginnen, dass ich

---

[1] W. Stirling: Ueber die Summation elektrischer Hautreize. Arbeiten aus d. physiologischen Anstalt zu Leipzig in Ber. über d. Verh. d. Kgl. sächs. Ges. d. Wiss. zu Leipzig. Math.-phys. Classe. Bd. XXVI 1874. S. 372.

[2] Ward: Ueber die Auslösung von Reflexbewegungen durch eine Summe schwacher Reize. Du Bois-Reymond's Archiv für Physiologie. 1880. S. 72.

I.

die Vorbereitung der Thiere und die Art der Pupillenbeobachtung

schildere: Ich habe meine Versuche fast nur an Katzen ausgeführt. Einmal ist der Sympathicus bei diesen sehr widerstandsfähig, und man kann daher die Versuche bei gut narkotisirtem Thier stundenlang ausdehnen. Zweitens ist die Pupille bei Katzen besonders gut zu beobachten, da die Iris hell und lebhaft gefärbt, und ihr Rand sehr scharf ist. Die Thiere wurden zunächst soweit chloroformirt, dass man sie bequem auf das Vivisectionsbrett spannen konnte. Nachdem sie aufgebunden waren, erhielten sie 0,5—1,0 g Chloralhydrat in die Bauchhöhle injicirt. Bei lange dauernden Versuchen — ich habe dieselben einige Male auf 5—6 Stunden ausgedehnt — wurde die Chloralinjection ab und zu wiederholt. Darauf wurde die Tracheotomie vorgenommen, auf der einen Seite die Vena jug. ext. freigelegt, auf der anderen der Vagosympathicus präparirt und unterbunden. Bei Kaninchen und auch einmal bei der Katze habe ich den Sympathicus allein unterbunden; sonst habe ich ihn bei den Katzen nicht vom Vagus, mit dem er in einer Scheide liegt, isolirt, um ihn möglichst wenig mechanisch zu schädigen. Nun wurde in die freigelegte Vene eine Curarelösung injicirt, bis die Athmung stillstand, und dann sofort künstliche Athmung eingeleitet. Das Curare liess sich nicht gut umgehen, da die Thiere sonst trotz der Narkose den Bulbus bewegten, doch habe ich mit möglichst geringen Mengen auszukommen gesucht. Darauf wurde das Auge in folgender Weise vorbereitet. Der äussere Augenwinkel wurde etwas gespalten, durch die palpebra super. und infer. je eine Naht gelegt und mit den in passender Weise befestigten Fäden die Lider auseinander gezogen. Endlich wurde die Nickhaut soweit exstirpirt, dass nun die Cornea vollkommen frei lag. Von

diesen Operationen wurde bei den späteren Versuchen die Präparation des Sympathicus zuletzt vorgenommen. Damit die Hornhaut nicht vertrocknete, wurde sie von Zeit zu Zeit mit physiologischer Kochsalzlösung irrigirt. Die Anlegung der Ludwig'schen Elektroden oberhalb der Unterbindungsstelle geschah mit besonderer Vorsicht, um den Nerven nicht zu schädigen. Die Pupille wurde durch ein horizontales, durch Zahn und Trieb von vorn nach hinten und nach oben und unten verschiebbares Mikroskop mit 10 cm Focalabstande beobachtet. In dasselbe war ein Ocularmikrometer eingelegt, welches in zwei aufeinander senkrecht stehenden Durchmessern Halbmillimetertheilung besitzt. Diese Theilung in zwei Durchmessern war für die Kaninchenpupille gemacht, da sich die Katzenpupille im Wesentlichen nur im queren Durchmesser erweitert. Die Fassung des Mikrometers ist an einem Handgriff drehbar, so dass man seine Theilung bei jeder Lage des Bulbus den beiden Durchmessern der Pupille (dem verticalen und horizontalen) anpassen kann. Die Vergrösserung war, wie empirisch festgestellt wurde, eine derartige, dass ein Theilstrich des Mikrometers 0,7 mm eines scharf eingestellten Massstabes entsprach.

Mit dieser Vorrichtung gelangt man nach einiger Uebung leicht dahin, die grösste bei jeder Reizung erreichte Pupillenerweiterung zu messen. Doch sind Beobachtungsfehler bis zu einem halben Theilstrich unvermeidlich, besonders, da die Bruchtheile der Theilstriche ja nur geschätzt werden können. Dies bitte ich bei den kleinen Unregelmässigkeiten, wie sie in den Tabellen und den daraus ableitbaren Curven hervortreten, zu berücksichtigen. Am schönsten wäre es jedenfalls, wenn man die Pupille selbst ihre Erweiterung aufzeichnen lassen könnte, was leider ohne starke Verletzung des Auges nicht möglich ist. Ein photographischer Apparat aber, um in rasch auf einander folgenden Momentbildern die einzelnen Stadien der Pupillenerweiterung festzuhalten, stand mir nicht zur Verfügung.

Man hätte endlich, um wenigstens einen der verschiedenen Einflüsse auf die Pupille auszuschliessen, die Oculomotoriusendigungen durch Atropin lähmen können. Aber einmal ist bei so stark erweiterter Pupille der Einfluss der Sympathicusreizung zwar noch vorhanden, aber eine genaue Messung ist dann unmöglich. Zweitens ist die Einwirkung des Antagonisten gerade erwünscht, weil bei ganz enger Pupille (gespanntem Dilatator), wie ich mich mehrfach überzeugt habe, die Pupille am schönsten und leichtesten auf die Reizung ansprach.

II.

Ueber den Einfluss der Stromintensität auf die Grösse der Pupillenerweiterung.

In der ersten Versuchsreihe kam es darauf an, den Einfluss der Stärke des auf den Sympathicus applicirten Stromes auf die Pupillenerweiterung zu prüfen. Die Reizung geschah mittelst tetanisirender Inductionsströme, deren vorzügliche Wirkung oben erwähnt ist und deren Stärke durch grössere oder geringere Entfernung der secundären von der primären Rolle leicht variirt werden kann. Es war dabei nothwendig, dass einmal die Einzelschläge stets in denselben Intervallen erfolgten, dass zweitens die Tetanisirungsdauer eine constante war, und dass endlich die den einzelnen Rollenabständen entsprechenden Intensitäten unter einander vergleichbar waren. Das erste wurde, da sich alsbald zeigte, dass der Wagnersche Hammer zur Hervorbringung regelmässiger Unterbrechungen nicht geeignet war, dadurch erreicht, dass an Stelle desselben eine mit trocknem Contact arbeitende König'sche Stimmgabel von 100 ganzen Schwingungen in der Secunde als Unterbrecher in den primären Kreis eingeschaltet wurde. Prüfungen mittelst eines elektrischen Signals, das auf dem Cylinder eines Baltzarschen Registrirapparates schrieb, zeigten uns, dass die Strom-

unterbrechung eine sehr regelmässige, niemals aussetzende war. Um ferner eine jedesmal gleichdauernde Reizung zu erzielen, wurde ein Ludwig-Baltzar'scher Registrirapparat benutzt, dessen sehr gleichmässige Umdrehungszeit zwischen $1^1/_2$ Stunden und 2 Secunden variirt werden konnte. An der unteren Peripherie der Trommel ist in leitender Verbindung mit der Axe derselben eine Stahlspitze angebracht. Diese taucht bei jeder Umdrehung in eine kreisbogenförmige etwa 36 Winkelgrade lange Quecksilberrinne, welche in eine Hartgummiplatte eingelassen, unter der Spitze befestigt ist. Dieser Quecksilbercontact wird in den secundären Kreis eingeschaltet und schliesst denselben bei jeder Umdrehung der Trommel, so lange sie dieselbe Geschwindigkeit behält, eine gleiche Zeit. Es ist also sowohl für gleichbleibende Reizintervalle, wie für eine nahezu constante Reizdauer gesorgt. Die genaue Berechnung der letzteren geschah in der Weise, dass man nach Beendigung des Versuches einen Markirmagnet mit Hülfe einer König'schen Stimmgabel die Reizdauer in $^1/_{100}$ Secunden auf die bewusste Trommel aufzeichnen liess, natürlich unter Beibehaltung der während des Versuches angewandten Rotationsgeschwindigkeit der Trommel.

Den Strom lieferte ein Daniell'sches Element; die Stromstärke wurde durch Annähern und Entfernen der secundären Rolle variirt. Da der Schlittenapparat empirisch graduirt war, so war es möglich, die Intensität der Inductionsströme in Stromeinheiten (den Rollenabstand $O = 1000\,E$ gesetzt) anzugeben. Die beiden ersten Versuche will ich nur kurz erwähnen, da bei ihnen der Wagner'sche Hammer noch nicht durch die Stimmgabel ersetzt war, und ferner das Mikroskop noch kein Mikrometer enthielt. Die Pupillenweite konnte daher nur geschätzt und nicht gemessen werden. Immerhin ergaben sowohl der

1. Versuch den 22. 4. 93

an einer alten männlichen Katze, als auch der

2. Versuch den 26. 4. 93

an einem alten männlichen Kaninchen, letzterer ohne Curare ausgeführt, das Resultat, dass innerhalb einer gewissen Grenze die Grösse der Pupillenerweiterung abhängig ist von der angewandten Stromstärke.

3. Versuch den 4. 5. 93

an einer alten weiblichen Katze. Zunächst kein Curare, sondern reine Chloralnarkose.

Beginn der Reizung 11 Uhr 45.

		Rollenabstand in mm	Reizstärke in Stromeinheiten	Pupillenerweiterung in Theilstrichen
1	Reizdauer 1,13"	150	8,09	0
2		140	10,43	0
3		130	11,18	0,5
4		120	23,64	1,5
5		110	31.35	5

Da das Thier den Bulbus stark bewegt, wird es durch intravenöse Injection curarisirt und künstliche Athmung eingeleitet. Darnach tritt auf beiden Augen eine gewaltige Pupillenerweiterung ein. Dieselbe kann durch die Curareinjection oder durch die künstliche Athmung, bei der die Lungen anfangs etwas stark aufgebläht wurden, bewirkt sein. — Merkwürdig ist dabei, dass die Pupillenerweiterung auch auf der Seite eintrat, auf welcher der Sympathicus unterbunden war. Dasselbe habe ich auch gesehen, wenn ich am Schlusse der Versuche die künstliche Athmung aufhob und die Thiere ersticken liess. Auch diese dyspnoische Mydriasis trat beiderseitig auf, ein Beweis, dass auch auf anderen Bahnen als dem Sympathicus eine Pupillenerweiterung bewirkt werden kann. — Der Versuch wird unterbrochen, die Athmung regulirt. Das Thier wird durch Zudecken vor zu starker Abkühlung

geschützt, die Halswunde sowie das Auge wird durch Fliesspapier, das mit physiologischer Kochsalzlösung getränkt ist, vor Austrocknung bewahrt. Um 2 Uhr wird, da die Pupille sich wieder verengt hat, zu weiterer Reizung geschritten.

Die Pupillenweite während der Ruhe beträgt 8 Theilstriche des Ocularmikrometers.

		Rollenabstand in mm	Reizstärke in Stromeinheiten	Pupillenerweiterung in Theilstrichen.
1	Dauer der jedesmaligen Reizung 1,13"	150	8,09	7
2		200	4,23	3,05
3		250	2,99	0
4		220	3,73	0
5		210	3,98	0
6		205	4,11*	0,25
7		206	4,08	0
8		204	4,13	1,75
9		203	4,15	2
10		202	4,18	3
11		201	4, 2	3
12		190	4,48	4,75
13		180	4,73	6,25
14		170	4,98	7
15		160	6,84	6,25
16		150	8,09	6,5
17		130	11,18	6,25
18		120	23,64	6
19		100	44,16	6
20		80	85,19	6,25

* Schwellenwerth.

Die Pupille verengt sich nach beendetem Reiz folgendermassen: Nach schwachen Reizen ist sie bald wieder auf dem Ruhepunkt angelangt, nach starken verengt sie sich anfangs auch ziemlich stark, dann sehr langsam, so dass sie erst nach etwa 5 Min. den ursprünglichen Stand erreicht hat. Uebrigens wurde sowohl bei diesem, wie auch bei späteren Versuchen stets so lange pausirt, bis der Reiz vollkommen abgeklungen war. Das geringe Absinken der Werthe für die Pupillenerweiterung nach der 14ten Reizung ist wohl auf Ermüdungserscheinungen zurückzuführen, wenn man es nicht als Beobachtungsfehler auffassen will. Dass auch bei den stärkeren Intensitäten die Wirkung nicht geringer ist, geht schon daraus hervor, dass am Anfang (1. Reizung) bei einer Stromstärke von 8,09 E eine Pupillenerweiterung von 7 Theilstrichen erfolgte, während jetzt (16. Reizung) bei derselben Intensität eine von 6,5 notirt ist.

4. Versuch den 19. 5. 93.

Alte männliche Katze. Eine Aenderung der Versuchsanordnung war hier insofern vorgenommen, als anstatt des Quecksilbercontacts eine Kupferfeder angewandt wurde, welche auf einem in eine Hartgummiplatte eingelassenen Kupferkreisbogen schleift. Dieser Kreisbogen lässt sich durch eine sehr dünne Hartgummilamelle zum Theil verdecken, wodurch die Reizdauer beliebig verkürzt werden kann. Es bildet dieser Versuch einen Uebergang zu der zweiten und dritten Versuchsanordnung, insofern auch hier schon bei gleichbleibender Stromstärke die Reizdauer und damit die Zahl der Reize gewechselt wird.

Beginn der Reizung 11 Uhr 30.

Die Pupillenweite während der Ruhe beträgt 11 Theilstriche.

	Reizdauer in Secunden	Rollenabstand in mm	Reizstärke in Stromeinheiten	Pupillenerweiterung in Theilstrichen
1	0,23	120	23,64	0
2	0,42	120	23.64	undeutlich
3	1,67	120	23,64	1
4	ca. 3*	120	23.63	1
5	0,23	110	31,35	0
6	0.42	110	31,35	1
7	1,67	110	31,35	2
8	ca. 3*	110	31,35	2
9	0,23	105	37,44	0,25
10	0,42	105	37,44	0,5
11	1,67	105	37,44	2
12	ca. 3*	105	37,44	3
13	0,23	100	44,16	1
14	0,42	100	44,16	2
15	1,67	100	44,16	3
16	ca. 3*	100	44,16	5
17	0,11	100	44,16	0
18	0,20	100	44,16	?
19	0,11	80	85,19	0
20	0,11	70	146,79	0,5
21	0,11	60	240,84	1

Beim Durchsehen der Tabellen der ersten Versuchsreihe erkennt man leicht die Abhängigkeit der Pupillenerweiterung von der angewandten Stromstärke bei gleichbleibenden Reizintervallen und constanter Reizdauer. Noch deutlicher wird dies Verhalten, wenn man sich die Werthe in Form einer Curve aufzeichnet. Eine solche Curve, wie

* Nach dem Secundenzeiger einer Taschenuhr gemessen.

man sie sehr schön z. B. aus der 2ten Tabelle des 3ten Versuches (S. 10) herstellen kann, hält sich bis zu dem Schwellenwerth auf dem Nullpunkt, dann steigt sie anfangs sehr steil, später flacher bis zu einem Maximum an, um bei weiterer Verstärkung des Stromes nicht mehr in die Höhe zu gehen. Diese Curven ergeben sich aus allen Versuchen, wo ich bei gleichbleibenden Reizintervallen und constanter Reizdauer die Stromstärke variirt habe, so z. B. auch aus der weiter unter S. 17 angegebenen Tabelle, nur würde diese Curve im ganzen viel flacher ansteigen. Dies kommt einerseits jedenfalls daher, dass hier die Reizintervalle 0,054″ und die Zahl der Reize 62, bei den ersten Versuchen aber 0,01″ bez. 113 betrugen. Ferner kommen aber noch andere Momente in Betracht. So war z. B. bei diesem Versuche die Pupille strichförmig eng, bei dem oben beschriebenen Versuche (S. 10) 8 Theilstriche weit. Man muss überhaupt Bedenken tragen, die absoluten Werthe zweier verschiedener Versuche mit einander zu vergleichen, da zu viel Momente in Betracht kommen, welche von Einfluss auf die Pupille sein können, z. B. die Zeit, welche nach der Unterbindung des Sympathicus verflossen ist, die Narkose (Chloroform, Chloral, Curare) u. s. w. Man thut besser aus jedem einzelnen Versuche das Gesetzmässige abzuleiten und nachher zu vergleichen, ob sich aus allen dasselbe Gesetz ergiebt.

Wiederholen wir nun noch einmal kurz das Resultat der ersten Versuchsreihe:

Wenn man auf den Halssympathicus faradische Ströme von gleichen Reizintervallen und gleicher Reizdauer einwirken lässt, so beginnt die Pupillenerweiterung erst bei einer gewissen Stromintensität (Schwellenwerth), steigt dann mit wachsender Stromstärke anfangs rasch, dann langsamer bis zu einem Maximum an, um auch bei starken Strömen sich nicht weiter zu vergrössern.

Aus der letzten Tabelle Seite 22 ergiebt sich auch deutlich ein Einfluss der Reizdauer oder, da hier die Reiz-

intervalle gleich bleiben, der Reizzahl auf die Erweiterung der Pupille.

Dieser Einfluss geht noch deutlicher aus den folgenden Versuchen hervor.

III.

Ueber den Einfluss der Reizzahl und der Reizintervalle auf die Grösse der Pupillenerweiterung.

Hier sollte zunächst bei beständig bleibender Stromstärke und bei gleichen Intervallen die Zahl der Reize verändert werden. Dies wurde in folgender Weise zu erreichen versucht: Als Intervall wurde eine Secunde gewählt. Den von 2 Tauchelementen gelieferten primären Strom unterbrach ein mit Quecksilbercontact versehenes Secundenpendel. Die secundäre Rolle stand durch Vermittelung eines Vorreiberschlüssels mit den Nerven in Verbindung. Um nicht Schliessungs- und Oeffnungsschläge hinter einander wirken zu lassen, waren die letzteren nach dem von Pflüger angewandten Princip abgeblendet. Von der Zuverlässigkeit der Abblendung überzeugten wir uns dadurch, dass wir statt des Nerven ein Telephon einschalteten. Wir hörten dann bei jedem Pendelschlage nur einen Ton, während man deutlich zwei wahrnahm, sobald die Drähte des secundären Stromes direct zum Telephon geführt wurden. Die Reizdauer und die Zahl der Reize wird durch den als Abblender wirkenden Elektromagneten auf einer berussten Trommel aufgezeichnet.

Wenn der Versuch beginnen soll, wird Pendel und Trommel in Gang gesetzt, der Beobachter stellt sich die Pupille im Mikroskop genau ein und hält die Hand an einem in den primären Kreis aufgenommenen Telegraphentaster. Wenn er denselben schliesst, erhält der Nerv alle

Secunden einen Schliessungsinductionsschlag und wird die Anzahl derselben auf der Trommel markirt, bis im Momente der Wirkung der Beobachter den Taster öffnet und damit den Versuch unterbricht.

5. Versuch den 24. 5. 93.

Mittelgrosses Kaninchen. Reine Chloralnarkose. Bei rhythmischer Reizung mit einzelnen durch ein Intervall von einer Secunde getrennten Schliessungsinductionsschlägen erfolgt keine Wirkung selbst bei über einander geschobenen Rollen (Reizstärke 1000 E). Der Erfolg bleibt auch dann aus, wenn die Abblendung beseitigt, der Nerv also alle Secunden von zwei sehr schnell auf einander folgenden Inductionsschlägen getroffen wird. Zur Controlle angewandte tetanisirende Ströme (Wagner'scher Hammer) gaben schon bei grösserem Rollenabstand kräftige Erweiterung der Pupille.

Das Resultat dieses Versuches war also ein negatives. Die einfachste Erklärung hierfür war wohl die, dass die Intervalle wenigstens für den Kaninchensympathicus zu gross waren, als dass eine Summation hätte stattfinden können.

Man musste also die Versuchsanordnung so einrichten, dass die Reizintervalle beliebig verkürzt werden konnten. Stirling wandte zu diesem Zwecke den Ruhmkorff'schen Interruptor, Ward eine schwingende Degenklinge an. Beide Methoden haben, wie die Autoren selbst zugeben, ihre Mängel, der Interruptor die unvollkommene Möglichkeit, Oeffnungs- oder Schliessungsschläge abzublenden, die Degenklinge die Beschränkung in den Reizintervallen. Wir haben uns daher in dem hiesigen physiologischen Institute einen neuen Apparat ersonnen. Da in der nächsten Zeit ein Aufsatz über diese Versuche in einer Fachzeitschrift erscheinen soll, so behalte ich mir vor, daselbst eine genaue Darstellung und Zeichnung des Apparates zu geben. Hier beschreibe ich denselben nur, soweit es zum Verständniss der Versuche nöthig ist.

Es wurde auch hier der Ludwig-Baltzar'sche Registrirapparat benutzt. An die Axe desselben wird unterhalb der Trommel ein Messingquerbalken angeschraubt, welcher 3 Metallfedern trägt. Die äussere von ihnen ist mit dem Querbalken, also auch mit der Axe, metallisch verbunden, die beiden andern sind von dem Querbalken durch Hartgummi isolirt, stehen aber unter sich in Contact. Die 3 Federn schleifen auf 3 Contactringen, welche in eine unter ihnen angebrachte Hartgummischeibe eingelassen sind. Der innere Contactring ist ein ununterbrochener Messingkreis, während die beiden äusseren eine regelmässige Folge von kreisförmig angeordneten Messingcontacten darstellen, welche durch ebenso viele Hartgummistücke getrennt sind. Die Contactfelder jedes Ringes (bei meinem Apparat 62) stehen im Innern der Scheibe mit einander in leitender Verbindung, doch sind die drei Ringe von einander isolirt. Der primäre Strom geht durch die Axe der Trommel, den Querbalken, die äussere Feder und den äusseren Contactring, welcher also bei der Drehung der Trommel an Stelle des Wagner'schen Hammers den Strom so oft unterbricht, als Contacte da sind. Die beiden inneren Contactringe und die beiden inneren Federn stellen eine in den secundären Strom eingeschaltete Nebenschliessung dar, welche, wenn die mittlere Feder auf einem Contactfelde steht, den Strom von dem Nerven abblendet. Die Federn sind nun so eingestellt, dass bei Rotation der Trommel die mittlere Feder der äusseren immer um ein Geringes voraneilt. Wenn daher die äussere Feder auf einen Contact gelangt, so ist die mittlere schon auf einem Contactfelde, wodurch der erzeugte Schliessungsinductionsschlag von dem Nerven abgeblendet wird; wenn aber die äussere Feder den Contact verlässt und dadurch den primären Kreis öffnet, so befindet sich die mittlere Feder schon auf einem Hartgummifelde und der Oeffnungsinductionsschlag geht durch den Nerven. Es erhält also der Nerv bei der Rotation der Trommel so viele Oeffnungsinductionsschläge

als der äussere Ring Contacte hat. Durch eine dünne kreisbogenförmige Hartgummilamelle, welche auf dem äusseren Contactringe verschieblich angebracht werden kann, ist es möglich eine beliebige Anzahl von Einzelreizen einzustellen. Unabhängig davon kann man durch verschiedene Einstellung des Uhrwerks die Intervalle zwischen den Einzelreizen von über 2″ bis 0,022″ variiren.

Den Strom lieferte wiederum ein Daniel'sches Element.

6. Versuch den 12. 6. 93.

Alte männliche Katze. Schwache Curarenarkose. Es wurde auch bei dieser Versuchsanordnung zur Controlle der ersten Versuchsreihe noch einmal der Einfluss der Stromstärke auf die Pupillenerweiterung geprüft. Beide Pupillen waren bei Beginn des Versuches spaltförmig eng, die rechte (Seite der Unterbindung) bleibt es in der Ruhe auch während der ganzen Versuchsdauer (5 Stunden), die linke ist am Schlusse etwas weiter.

Reizintervall 0,054″
Zahl der Reize 62

Rollenabstand in mm	Stromstärke in Einheiten	Pupillenerweiterung in Theilstrichen
180	4,73	6
160	6,84	3
150	8,09	6
130	11,18	8
120	23,64	9
110	31,35	9,3
100	44,16	9,5

Das Resultat dieser Tabelle, welches schon oben erwähnt ist, bestätigt das der ersten Versuchsreihe.

Es wurden nun die Versuche in der Weise vorgenommen, dass bei gleichbleibendem Reizintervall und constanter Stromstärke die Zahl der Oeffnungsschläge variirt wurde.

		Zahl der Reize	Pupillenerweiterung
a)	Stromstärke 23,64 E Reizintervall 0,054″	1	minimal
		2	0,5
		3	1,2
		4	2,5
		5	3
		6	4
		10	4,2
		15	4,2
		19	4,5
		30	7
		40	9
b)	Stromstärke 23,64 E Reizintervall 0,073″	1	0,25
		2	1
		3	2
		4	3
		5	3,5
		10	4
		15	5,5
		19	7
		30	8,5
		40	8,5
		62	9,5
c)	Stromstärke 85,19 E Reizintervall 0,113″	1	minimal
		2	1,75
		3	3
		10	5

		Zahl der Reize	Pupillenerweiterung
d)	Stromstärke 85,19 E Reizintervall 0,505″	1	1
		2	1,2
		3	1,5
		4	1,5
		10	1,5
		19	2
		62	3
e)	Stromstärke 85,19 E Reizintervall 0,880″	1	0,5
		2	0,75
		5	1,2
		10	1,2
		19	1,5
		62	2

f) Bei einem Reizintervall von 2,141″ (Stromstärke 85,19 E) ist eine Summation der Reizwirkung selbst bei 62 auf einander folgenden Reizen nicht mehr bemerkbar. Die Pupille ist etwa 1,5 Theilstriche weit und schwankt den Einzelreizen entsprechend hin und her, ohne sich weiter zu vergrössern.

Aus diesen Versuchen a—f geht deutlich hervor, dass die Grösse der Pupillenerweiterung unter sonst gleichen Bedingungen abhängig ist von der Reizzahl, vorausgesetzt, dass die Stromstärke nicht zu schwach genommen wird und die Reizintervalle nicht zu gross sind. Im letzteren Falle findet eine Summation der Einzelschläge nicht mehr statt.

7. Versuch den 14. 6. 93.

Alte männliche Katze. Schwache Curarenarkose. Rechter Sympathicus isolirt vom Vagus unterbunden. Beide Pupillen sind bei Beginn des Versuches ziemlich eng (etwa einen Theilstrich). Während der Dauer des Versuches erweitert sich die linke Pupille etwas, während die rechte (Seite der Unterbindung) sich noch mehr verengt. Dies bestätigt die auch schon bei den übrigen Versuchen gemachte Erfahrung, dass die volle Wirkung der Sympathicusunterbindung sehr langsam, oft erst nach Stunden eintritt.

Beginn der Reizung 11 Uhr 30. Es wird zunächst bei gleichbleibender Stromstärke und Zahl der Reize die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel und damit die Dauer der Reizintervalle variirt.

Stromstärke 68.17 E.
Zahl der Reize 19

Reizintervall	Pupillenerweiterung
2,94″	minimal
1,29″	0,5
0.454″	0,5
0.227″	1
0,154″	1.3
0,116″	3
0,089″	5
0.077″	5.5
0,058″	7
0.028″	7.5

Aus diesem Versuche geht die Abhängigkeit der Pupillenerweiterung von der Zeit, in welcher die einzelnen auf den Sympathicus applicirten Reize auf einander folgen, deutlich hervor, und zwar ist die Wirkung um so stärker, je schneller sie auf einander folgen. Unterbrechung des Versuches 1 Uhr 30. Das Thier bekommt noch 0,5 Chloralhydrat und wird zugedeckt: Auge und Halswunde werden wie oben vor Austrocknung geschützt.

Fortsetzung des Versuches 2 Uhr 30.

Es wurde wie im 6. Versuche bei constanter Stromstärke die Zahl der Schläge variirt und zwar zuerst bei grossen Reizintervallen, nachher bei geringeren. Da die Stromstärke immer dieselbe blieb, so habe ich die sich ergebenden Tabellen in eine zusammen fassen können, bei der man sowohl den Einfluss der Zahl wie der Frequenz der Reize erkennen kann. Die Zahlen der ersten Horizontalreihe bedeuten die Reizintervalle in Secunden, in der ersten Verticalen findet sich die Zahl der angewandten Einzelreize. Die übrigen Reihen geben die Pupillenerweiterung in Mikrometertheilstrichen.

	1,277"	0,833"	0,641"	0,526"	0,444"	0,333"	0,323"	0,159"	0,115"	0,089"	0,058"	0,022"
1	0	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—	—
2	0,2	0	0,2	0	0	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2	0,5
3	0,3	0,1	0,4	0,1	0,2	0,3	0,2	0,9	0,5	0,5	0,5	2,5
4	0,2	0,1	0,6	0,2	0,3	0,5	0,5	1	1,5	1,2	1	3
5	0,4	0,2	0,6	0,2	0,3	0,5	0,5	1	1,9	2	2	4
6	—	—	—	—	—	—	—	—	1,9	—	2	4
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,5
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5
10	0,5	0,2	0,8	0,8	0,8	1	1	2,5	2,5	3	3	5,5
19	0,5	0,5	1,2	1	1	1	1,5	4	4,5	4,7	5,5	8
30	—	0,75	1	1	1	—	1,5	4	5,2	5,5	7	9,5
40	—	0,75	—	—	—	—	1,6	—	5,5	7	8	—
62	0,5	1	1	1	1	1,5	1,6	4	5,5	7	9	11
186*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13
620*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14,5

* Nach je 62 Reizen findet hier eine kleine Pause von etwa 0,6" Dauer statt.

Bei den sehr frequenten Reizen geht die Pupillenerweiterung sehr langsam zurück, wie es scheint sogar langsamer als bei ebenso starker Erweiterung, wenn dieselbe durch eine grössere Zahl seltenerer Reize hervorgerufen ist. Aus dieser Tabelle kann man sich 2 Arten von Curven herstellen, von denen die erste den Einfluss der Reizzahl bei gleichbleibendem Reizintervall, die zweite den der Reizfrequenz bei gleichbleibender Reizzahl demonstrirt. Für die erste Art von Curven sind diese Zahlen zuverlässiger, da die einer Curve entsprechenden Werthe direct hintereinander, also unter möglichst gleichen Bedingungen, gewonnen sind. Zeichnet man sich eine solche Curve, deren Abscissen die Reizzahlen und deren Ordinaten die Pupillenerweiterung darstellen, so erkennt man, dass sie ein ganz ähnliches Bild geben wie diejenigen, welche den Einfluss der Reizstärke auf die Pupillenerweiterung demonstriren. Auch hier steigt die Curve anfangs steil, später flacher bis zu einem Maximum an, um dann durch weitere Vermehrung der Schlagzahl nicht mehr in die Höhe zu gehen. Dabei ist zu bemerken, dass dieses Maximum um so eher erreicht wird und um so niedriger ist, je grösser das Reizintervall genommen wurde. Die zweite Art von Curven, die man aus der letzten Tabelle gewinnen kann, würden den Einfluss der Reizfrequenz auf die Pupillenerweiterung darstellen. Man erhält solche Curven z. B. auch aus der Tabelle S. 20, indem man zu Abscissen die Reizintervalle, zu Ordinaten die Pupillenerweiterungen nimmt. Diese Curven steigen anfangs sehr langsam an, um, je grösser die Frequenz wird, um so steiler in die Höhe zu gehen. Ein Maximum ist bei 0,022″ noch nicht erreicht.

IV.

Resultate.

Ueberblicken wir nun die Resultate unserer Versuche, so müssen wir allen drei von mir untersuchten Factoren:

Stromstärke, Reizzahl und Reizintervall einen deutlichen und sicheren Einfluss auf die Pupillenerweiterung zu erkennen. Variiren wir unter sonst gleichen Bedingungen, die nur so sein müssen, dass Reizinintervall und Reizzahl die Wirksamkeit überhaupt verbürgen, die Stromstärke, so zeigt sich bei schwachen Strömen zunächst gar kein Einfluss auf die Pupille. Bei einer gewissen Stromstärke beginnt die Erweiterung der Pupille und steigt mit wachsender Intensität anfangs rasch, später langsamer in verhältnismässig geringem Zwischenraum zu einem Maximum an, das bei weiterer Steigerung nicht überschritten wird. Ganz ähnlich ist das Verhalten bei wechselnder Zahl der Reize (hier wieder ausreichende Intensität und genügend kurzes Intervall vorausgesetzt). Während durch einen einzelnen Inductionsschlag nur eine unsichere und höchstens minimale Wirkung erzielt werden kann, zeigt sich schon in der ersten Decade der Reizzahlen eine deutliche Summation. Die Curve der Pupillenerweiterung steigt steil an, um dann, allmählich flacher werdend, bis zu einem Maximum zu gelangen, von dem aus eine Vermehrung der Reizzahlen keinen Einfluss auf die Pupillenweite mehr ausübt.

Anders verhält sich die Pupille bei wechselnden Reizintervallen. Während bei grossen Reizintervallen bis zu einer Secunde eine Summation nicht stattfindet, ja auch bei etwas kleineren Intervallen noch nicht deutlich ist, beginnt sie etwa bei Intervallen von 0,5″ augenscheinlich zu werden. Dann nimmt die Pupillenerweiterung mit wachsender Frequenz anfangs langsam, später sehr rapide zu. Ob und wo ein Maximum erreicht wird, kann ich nicht sagen. Jedenfalls liegt dasselbe bei Intervallen von weniger als 0,022″.

Die fast gänzliche Unwirksamkeit einzelner Inductionsschläge, die Summationswirkung mehrerer auf einander

folgender Schläge, welche vorzüglich durch erhöhte Frequenz gesteigert werden kann, ähneln den Resultaten, wie sie von Stirling und Ward für die Auslösung von Reflexbewegungen durch Summation elektrischer Hautreize angegeben sind. Fast vollständig aber stimmen sie überein mit dem, was Kronecker und Nicolaides[1] bei der Reizung der Gefässnervencentra gefunden haben.

Auch hier sind die Endorgane glatte Muskeln. Fragt man nun nach dem Ort, wohin man die Summation der Einzelreize zu verlegen hat, so kommen in Betracht die Ganglienzellen (beim Sympathicus des Gangl. cerv. suprem.) oder die Endapparate in der glatten Musculatur; denn dass die Summation in den Nervenfasern stattfinden sollte, ist wenig wahrscheinlich. Aus Versuchen, die ich an glatten Muskeln ausgeführt habe und die ein ganz ähnliches Verhalten der glatten Musculatur bei directer Reizung zeigten, glaube ich entnehmen zu müssen, dass die Endorgane es sind, in denen die Summation der Reize stattfindet. Diese Versuche sind aber noch nicht zum Abschluss gelangt und werden im hiesigen physiologischen Institute noch weiter fortgesetzt. Uebrigens spricht für die Summation in den Muskelfasern auch die von Kronecker an der oben genannten Stelle constatirte Thatsache, dass die Summationsgesetze auch für die Reizung der peripheren Enden der durchschnittenen Splanchnici gelten.

[1] Verhandlungen der Berliner physiologischen Gesellschaft 16. Juli 1880.

Zum Schlusse erlaube ich mir, Herrn Prof. Dr. Langendorff für die gütige Unterstützung bei dieser Arbeit, ebenso Herrn stud. med. Schatz für seine mir öfters geleistete Hülfe meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.